

基于 SAPAD-AHP 的智能割草机器人设计研究

李嘉欣¹, 黄雪飞^{1*}, 潘鑫宇²

(1. 武汉理工大学, 武汉 430070; 2. 武汉工程大学, 武汉 430205)

摘要: **目的** 挖掘用户在使用智能割草机器人的过程中每个行为背后的意义, 重建操作流程、产品功能、产品部件系统, 以改善产品可用性, 提升用户操作体验。**方法** 通过非参与式观察法及深度访谈法, 解析用户使用割草机器人的行为; 引入 SAPAD 框架挖掘“行为-对象-意义”的映射关系, 聚类得出一般意义簇; 通过 AHP 方法计算一般意义簇的权重, 通过筛选和聚类得到多层级核心意义簇, 获取用户核心需求。由“多层级核心意义簇-产品”的映射分析, 重构部件系统。**结果** 在 SAPAD-AHP 的方法指导下, 开展智能割草机器人设计, 与市售两款同类产品进行对比评价, 结果显示该方案在核心功能及交互体验方面有显著改善。**结论** 基于 SAPAD-AHP 方法进行智能割草机器人设计, 可更精准地获取用户核心需求, 使功能设计更合理, 这有助于设计师创作出更具竞争力的方案, 为智能机器人产品的设计开发提供了一定的参考和思路。

关键词: 产品设计; SAPAD; AHP; 割草机器人

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)24-0112-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.24.013

Design and Research of Intelligent Mowing Robot Based on SAPAD-AHP

LI Jia-xin¹, HUANG Xue-fei^{1*}, PAN Xin-yu²

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the underlying meaning behind each behavior during the use of intelligent mowing robots, reconstruct the operational process, product functions, and component systems, and improve product usability and user experience. Non-participatory observation and in-depth interviews were conducted to analyze users' behaviors when using mowing robots. The SAPAD framework was introduced to uncover the mapping relationship between "behavior-object-meaning", and the general meanings were obtained by clustering. The AHP method was used to calculate the weights of general meaning clusters, and core meaning clusters at multiple levels were obtained through screening and clustering to identify users' core needs. By analyzing the mapping between "multi-level core meaning cluster-product", the component system was reconstructed. The design of an intelligent mowing robot based on the SAPAD-AHP method can more accurately capture the core needs of users, make the functional design more reasonable, and help designers to create more competitive solutions. It provides a reference and guidance for the design and development of similar intelligent robot products.

KEY WORDS: product design; SAPAD; AHP; mowing robot

草坪具有增添环境美感、改善空气质量、提供休闲空间和调节气候等多重功能^[1]。草坪机械在现代化草业中扮演了关键角色^[2]。割草机是该领域的标志性产品, 能帮人省时、省力地进行草坪维护, 以改善人

居环境。

1805年, 英国人发明了第一台割草机, 由人推动, 无动力支持^[3]。1997年, 首台智能割草机器人诞生^[4]。如今, 国内外已涌现众多品牌, 如以色列的石

收稿日期: 2023-07-26

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目(202002287018); 2015年度国家社会科学基金艺术学青年项目(2015GG02753)

*通信作者

头 (Robomow)、瑞典的富世华 (Husqvarna)、德国的嘉丁拿 (Gardena)、中国的威克士 (Worx) 和科沃斯 (Ecovacs) 等。近 30 年间智能割草机器人技术不断更新, 工作效率显著提升, 但仍存在安全隐患多、智能化程度低、操作复杂等问题。因此, 对智能割草机器人的安全性、易学性、易用性展开深入研究显得尤为重要。

从国内外文献看, 目前智能割草机器人研究主要集中在工程技术层次, 包括控制系统^[5-6]、机械结构^[7]、路径规划算法^[8]等方面, 多以提高产品效率效能为目的。聚焦于产品用户及设计的研究较少, 陈香等^[9]利用模糊 KANO-TOPSIS 方法对智能割草机用户需求指标进行双重筛选, 获取用户需求。程旭峰^[10]构建了一般工业产品形象设计品质评价体系的基础模型, 并运用该模型完成了割草机形象品质的检测实验。研究现状显示, 对用户真实核心需求的挖掘还不够深入, 对人机交互的系统性探究也较少, 这间接导致了用户对该类产品满意度偏低的情况发生。

智能割草机器人技术复杂, 结构紧凑, 产品和交互系统影响因素多, 设计开发时尤须以用户为中心, 满足核心需求, 以提升用户使用时的满意度^[11]。本文拟从设计符号学角度出发, 聚焦用户需求与体验, 挖掘和识别核心功能需求与情感需求, 构建能改善用户体验的产品设计方案, 推动智能割草机设计由技术驱动型向体验驱动型转变。

1 SAPAD-AHP 方法

1.1 SAPAD 与 AHP 的融合

产品建构设计的符号学方法 (Semiotics Approach of Product Architecture Design, SAPAD) 是由 Hu 等^[12]与 Racz 等^[13]提出的一种以用户为导向的产品设计方法, 具体框架见图 1。SAPAD 引入了“意义”作为人机交互系统的第三个维度, 采用符号阶梯框架和对称矩阵分析模型, 系统地挖掘用户行为的深层意义, 为产品功能改进、流程优化、体验评估提供参考, 可将结构复杂、操作繁琐的产品逐步拆解, 适用于对人机交互有更高要求的智能化产品设计^[14]。SAPAD 框架已应用于产品设计、服务设计、系统设计等领域。如胡飞等^[15]基于 SAPAD 框架, 重构了无人售货产品的功能模块和服务系统。郭雨晴^[16]借助 SAPAD 框架, 聚焦于用户使用手持头部按摩器的行为, 通过挖掘行为背后的意义以获取用户体验的不足, 为产品人机工程优化设计提供参考。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种多准则决策方法, 由美国运筹学家萨蒂教授 (Thomas Saaty) 在 20 世纪 70 年代提出^[17]。它结合了主观判断和定量分析, 通过分解、比较决策问题的相关因素, 从而解决多目标、多准则的复杂决策问题^[18]。

由于 SAPAD 是一种定性分析模型, 缺乏对意义簇的重要度和优先级的有效判断, 而属性划分后的核

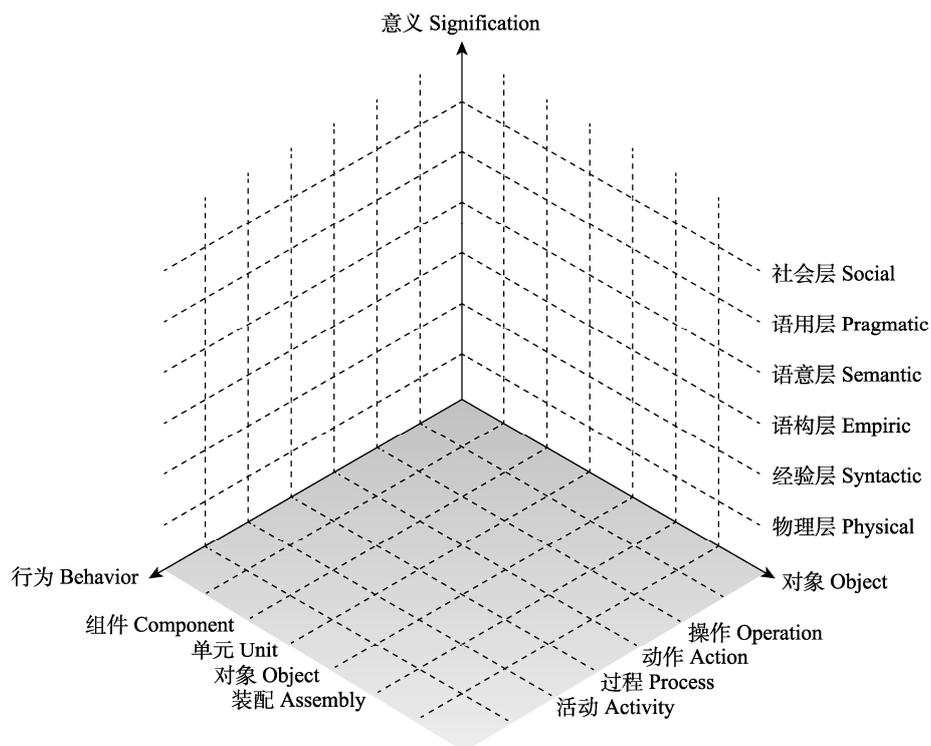


图 1 SAPAD 框架
Fig.1 SAPAD framework

心意义簇是确定产品核心设计要素和开发重点的重要依据，其确定有助于设计团队的科学决策，明确设计方向。因此，在 SAPAD 中引入 AHP 将弥补前者获取核心意义簇时主观因素较强的缺陷，客观地对各意义簇的重要度进行排序。

1.2 SAPAD-AHP 的应用流程

曾有学者将 SAPAD-AHP 融合框架用于智能充电桩^[19]及儿童牙医服务系统^[20]的研究，其应用对象的结构和技术原理均较简单。如何将 SAPAD-AHP 应用到高度集成化、多功能化、智能化的复杂机械设备的設計研究中，还有待进一步发展。

将 SAPAD-AHP 融合框架应用于复杂机械设备

的研究过程如图 2 所示，主要分为以下四步。

1) 确定设计目标。由项目要求触发设计流程，确定本次设计的目标、应用场景、目标用户等。

2) 需求的获取、筛选及映射。首先，获取用户行为全流程，将用户广泛行为逐步拆解为任务、子任务，并列行为相关物，形成“行为-对象”的映射关系。其次，通过对 SAPAD 框架的 6 个意义进行逐层分析，建立“行为-意义”的映射关系，运用聚类分析方法获取一般意义簇。最后，通过 AHP 进行“一般意义簇-核心意义簇-多层次核心意义簇”的筛选，获取多层次核心意义簇。凭借 AHP 获取的多层级核心意义簇将比一般意义簇更精确，对方案设计更具针对性。

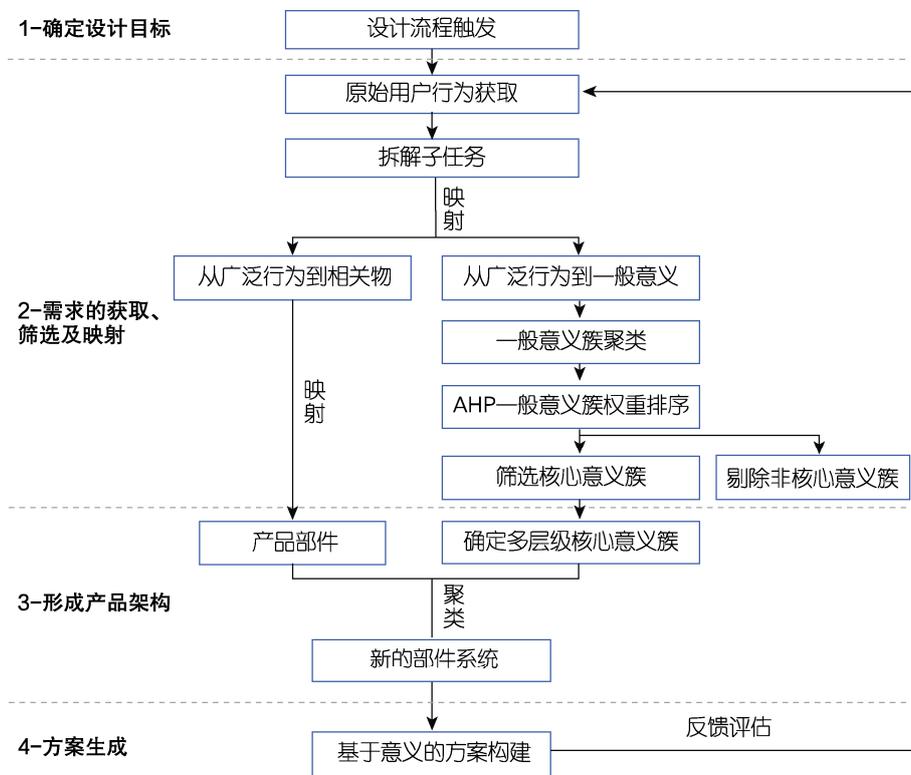


图 2 SAPAD-AHP 融合应用研究过程
Fig.2 Research process of SAPAD-AHP fusion application

3) 基于意义的产品架构。在多层次核心意义簇的指导下，对产品部件重新进行聚类重组，形成新的产品架构，通过挖掘使用者的构想、动机、感受、行为等深层信息，使产品架构更符合用户的真实需求。

4) 系统方案的生成。通过提取产品架构相关的设计要素，客观地指导后续方案设计过程。

2 SAPAD-AHP 应用于智能割草机器人设计

基于 SAPAD 框架，通过探究“行为-对象-意义”间的映射关系，获取用户行为的意义，在筛选大量意义簇的过程中，用 AHP 方法获取核心意义簇。在流程上，从行为到对象再到意义，可解决“需求-功能-

形式”过程中的阻碍。在方法上，让定性分析与定量分析相结合，能提升设计流程的可解释性和精确性。

2.1 SAPAD 与一般意义簇群

2.1.1 用户行为调研

选取国内两个城市的公园草坪、高尔夫球场、生态农庄、私人住宅草坪等智能割草机器人使用者 8 人，采用非参与式观察法及深度访谈法对以上用户进行行为调研。通过梳理归纳调研信息，总结行为节点、触点、情绪节点，从而构建典型用户行为流程图，见图 3。

2.1.2 “行为-对象”的映射分析

依据 SAPAD 框架将三个多层次核心意义簇映射

至相关物, 即意义对应于行为, 行为对应于相关物。通过“行为-对象(相关物)”的映射分析, 找出用户操作全流程中的行为相关物, 为实现产品功能提供物理支

持。依据用户使用传统智能割草机器人的行为流程, 将 3 个关键活动拆解为 6 个任务、14 个子任务, 共涉及 15 个行为相关物, “行为-对象”的映射分析见表 1。

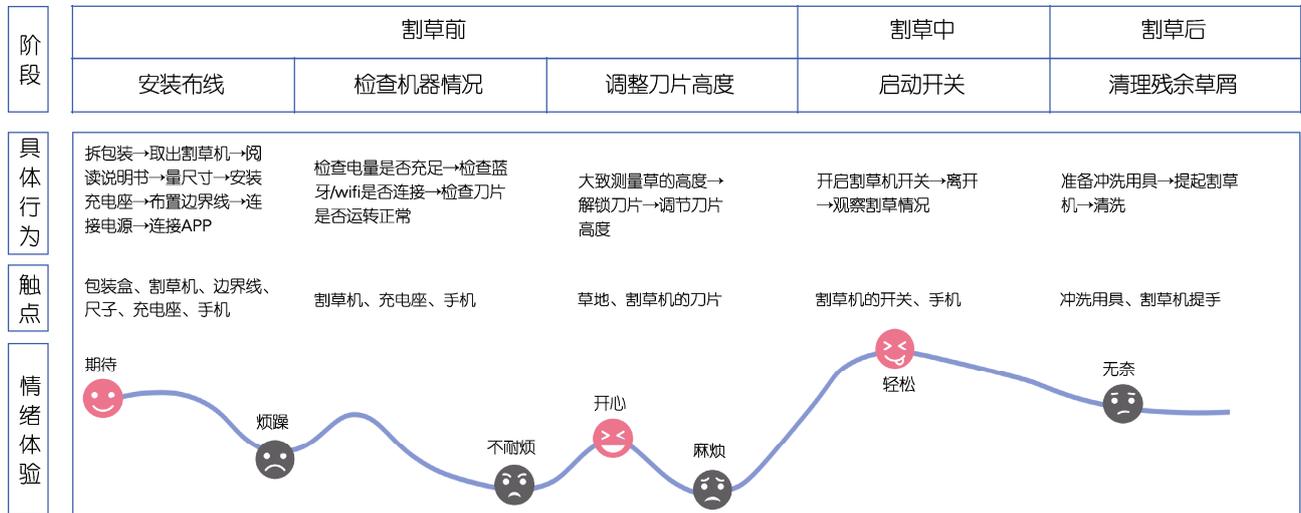


图 3 用户行为流程图
Fig.3 User behavior map

表 1 “行为-对象”的映射
Tab.1 Mapping of "behavior-object"

活动	环境	任务	子任务	行为相关物	
A 割草前准备	屋内、草坪	A1 安装布线 (首次使用)	T1 阅读说明书	说明书/包装盒	
			T2 量度尺寸	尺子/草坪	
			T3 安装充电座	充电座/电线/安装工具/草坪	
			T4 布置边界线	尺子/边界线/安装工具/草坪	
			T5 连接割草机与 APP	割草机/手机	
B 割草进行中	屋内、草坪	A2 检查并调整割草机	T6 检查电量是否充足	割草机/手机	
			A3 启动开关	T7 调整刀片高度	割草机/调节工具/草坪
				T8 查看割草机指示灯	割草机
C 割草完成后	草坪、屋内	B1 等待割草完成	T9 查看割草进度	手机/割草机/草坪	
			T10 查看设备异常情况 (避雨、卡住、断网等其他异常情况)	割草机/手机/维修工具/充电座/草坪	
			T11 探索其他功能	割草机/手机/草坪	
			T12 拆下刀片	割草机/拆装工具	
			T13 清理残余草屑	割草机/清洗工具/水龙头/草坪	
		C2 充电	T14 自主回充并待机	充电座/割草机/草坪	

2.1.3 从行为到一般意义的映射

对用户行为的内在意义进行分层挖掘, 获取其操作需求和情感需求。将使用智能割草机器人的 14 个子任务分别在物理、语构、经验、语意、语用、社会 6 个意义层次中进行映射分析, 共发现物理层要素 15 项、语构层 14 项、经验层 14 项、语意层 12 项、语用层 11 项, 以及社会层 3 项, “用户行为-意义”的提取内容见表 2。

2.1.4 一般意义簇聚类分析

此阶段重点研究语构层、经验层、语用层和语意层, 可识别用户使用智能割草机器人时的真实诉求和意义, 本研究选取上述 4 个意义层展开聚类分析。

通过布尔逻辑关联矩阵分析意义之间的关联强度, 应用此关联建立要素之间的相关关系群组, 从而生成对称式聚类矩阵。为使关联结果更直观, 分别用“●”表示强相关; “◎”表示中等相关; “△”表示

弱相关；空白处表示无相关性。此外，用颜色深浅区分关联强度。确定关键的意义簇，开发新的系统架构。以语意层为例展开一般意义簇的聚类分析，聚类结果如图4所示，其他意义层同理。

语意层讨论的是符号使用的结果和效果，强调人的情感性及体验性，是用户使用割草机器人的具体感受。由图4的语意层聚类分析结果，得出6个一般意义簇：安装布线过程复杂（SE1）；割草信息获取麻烦（SE2）；刀片更换不安全（SE3）；使用说明不清晰（SE4）；自主工作能力差（SE5）；人机操作不合理（SE6）。

语构层讨论的是不同物理属性间交互产生的功

能模块，是用户期待的割草机器人功能。通过聚类得出4个一般意义簇：快速安装功能（SY1）；持续工作功能（SY2）；远程操控功能（SY3）；刀片调节功能（SY4）。

经验层是基于用户知识的信息加工过程，产生的解释性知识可在用户使用割草机器人时进行辅助。通过聚类得出6个一般意义簇：提前学习安装方法及准备操作工具（EM1）；准备手机进行操作（EM2）；熟悉割草机操控系统（EM3）；查看割草机状态是否正常（EM4）；去草坪查看具体状况（EM5）；寻找水源清洗割草机（EM6）。

表2 “行为-意义”的映射
Tab.2 Mapping of "behavior-meaning"

子任务	意义					
	物理层	语构层	经验层	语意层	语用层	社会层
T1 阅读说明书	说明书/包装盒	学习安装步骤	打开包装后找说明书并学习	组装步骤繁琐	简化安装步骤	绿色包装
T2 量度尺寸	尺子	获取草坪尺寸	提前准备尺子方便安装电线	草坪太大用尺子度量不方便	快速获取草坪二维尺寸	
T3 安装充电座	充电座/电线/安装工具	让充电座为割草机充电	提前想好安装位置	安装步骤繁琐	简化安装步骤	保护草坪
T4 布置边界线	尺子/边界线/安装工具	划定界限规划路线	准备相关安装工具	电线易缠绕、长度不合适	快速铺设电缆电线易收纳	保护草坪
T5 连接割草机与APP	割草机/手机	查看割草机情况	通过手机查看	信息获取不及时、不全面	及时更新有效的信息	
T6 检查电量是否充足	割草机/手机	查看预计工作时长	查看割草机指示灯	弯腰查看极其不便	剩余电量显示明显	
T7 调整刀片高度	割草机/调节工具	修剪草坪至期望深度	用工具调节刀片	更换操作繁琐	快速安全	
T8 查看割草机指示灯	割草机	查看是否正常工作	确认割草机无误	弯腰查看极其不便	状态可视化明显	
T9 查看割草进度	手机/割草机	查看预计工作时长	通过手机查看或去草坪查看	信息获取不及时、不全面	及时更新割草进度	不伤害草坪上的动物、人、公共物等
T10 查看设备异常情况	割草机/手机/维修工具/充电座	查看是否正常工作/及时解决问题保证运转	查看割草机出现的状况	自适应能力较差	及时更新有效的信息	
T11 探索其他功能	割草机/手机	获取更多功能	探索割草机结构或者手机APP界面	对新手用户不友好	产品直观展现功能	
T12 拆下刀片	割草机/拆装工具	将刀片拆下清理	提前准备拆装工具	拆刀片繁琐且不安全	快速安全	
T13 清理残余草屑	割草刀片/清洗工具/水龙头	清洁并维护割草机	将割草机搬到水龙头旁	割草机沉重	方便搬运	
T14 自主回充并待机	充电座/割草机	给割草机充电	割草任务完成	获取充电情况	自主回充	

	组装步骤繁琐	安装步骤繁琐	草坪太大用尺子度量不方便	电线易缠绕、长度不合适	信息获取不及时、不全面	信息获取不及时、不全面	获取充电情况	更换繁琐且不安全	拆刀片繁琐且不安全	对新手用户不友好	割草机沉重	自适应能力较差	弯腰查看极其不便	弯腰查看极其不便
SE1	●	●	○	○						△	△			
	●	●	●	○						△	△			
	○	●	●	●						△				
	○	○	●	●						△				
SE2					●	●	○							
					●	●	○							
					○	○	●						△	△
SE3								●	●	△				
								●	●	△				
SE4	△	△	△	△				△	△	●				
SE5	△	△									●	○		
											○	●		
SE6								△					●	●
								△					●	●

图 4 语义层一般意义簇聚类
Fig.4 General meaning clustering of semantic layer

语用层是用户对产品的真实诉求, 讨论的是符合传播的目的性。通过聚类得出 7 个一般意义簇: 希望简化布线过程 (PR1); 希望对草坪快速建模 (PR2); 希望快速获取割草机状态 (PR3); 希望操作安全 (PR4); 希望操作简单 (PR5); 希望容易搬运 (PR6); 希望无须经常充电 (PR7)。

2.2 AHP 与多层级核心意义簇

通过聚类分析得到多种一般意义簇, 为获取用户核心诉求, 通过 AHP 对聚类分析的结果进一步提炼, 获取核心意义簇。本阶段以语义层的一般意义簇为例, 将智能割草机器人用户体验 (O) 作为目标层。

将语义层的安装布线过程复杂 (C₁); 割草信息获取麻烦 (C₂); 刀片更换不安全 (C₃); 使用说明不清晰 (C₄); 自主工作能力差 (C₅); 人机操作不合理作为准则层 (C₆)。将安装步骤繁琐 (P₁); 尺子不方便量草坪 (P₂); 电线易缠绕 (P₃); 电线长度不合适 (P₄); 割草信息获取不及时不全面 (P₅); 不能及时获取充电情况 (P₆); 弯腰查看极其不便 (P₇); 刀片更换步骤繁琐 (P₈); 拆刀片不安全 (P₉); 对新手用户不友好 (P₁₀); 割草机太重 (P₁₁); 自适应工作能力较差 (P₁₂) 作为方案层, 构建的层次分析模型见图 5。

此阶段邀请 10 位专家对 6 个准则层指标的重要性等级进行比较评价, 包括 3 位割草工人、2 位割草

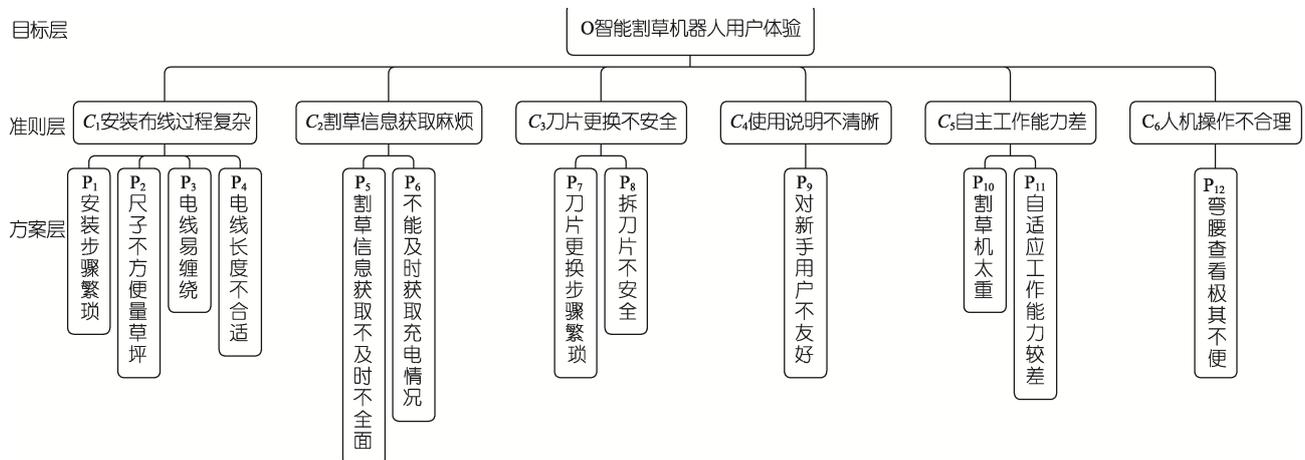


图 5 割草机器人用户体验层次分析模型
Fig.5 Analytic hierarchy model of mowing robot user experience

机工程师,以及5位工业设计师。采用二元对比法,构建两两比较判断矩阵,标度选择1~9及非零数值对应倒数,将标度数值代入公式(1)构建正互反矩阵

R 如表3所示,其中 $r_{ij} = \frac{1}{r_{ji}}$, $r_{ij} > 0$ 。

$$R = (r_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

采用算术平均法求解判断矩阵的归一化权重值 ω_i ,其中 $i = (1, 2, \dots, n)$,见表4。

表3 准则层指标判断矩阵
Tab.3 Criterion layer indicator judgment matrix

指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	1	2	5	7	3	2
C_2	1/2	1	4	5	3	1
C_3	1/5	1/4	1	2	1/3	1/4
C_4	1/7	1/5	1/2	1	1/3	1/5
C_5	1/3	1/3	3	3	1	1/3
C_6	1/2	1	4	5	3	1

通过公式(2)计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} ,用于判断矩阵的一致性,求得 $\lambda_{\max} = 6.1461$ 。

表4 归一化指标权重值
Tab.4 Normalized indicator weights

指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	ω_i
C_1	0.373 7	0.418 1	0.285 7	0.304 3	0.281 3	0.418 1	0.346 9
C_2	0.186 8	0.209 1	0.228 6	0.217 4	0.281 3	0.209 1	0.222 0
C_3	0.074 7	0.052 3	0.057 1	0.087 0	0.031 3	0.052 3	0.059 1
C_4	0.053 4	0.041 8	0.028 6	0.043 5	0.031 3	0.041 8	0.040 1
C_5	0.124 6	0.069 7	0.171 4	0.130 4	0.093 8	0.069 7	0.109 9
C_6	0.186 8	0.209 1	0.228 6	0.217 4	0.281 3	0.209 1	0.222 0

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{\omega_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

将归一化后的数值代入式(3)计算一致性指标。

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

当一致性比率 $C_R = C_1/R_1$ 的计算值小于0.1时,判断矩阵一致性检验通过。通过查随机一致性表得知 $R_1 = 1.26$,则 $C_R = 0.0232 < 0.1$,可见权重 ω_i 有效,6个准则层指标的权重优先级如表5所示。

表5 准则层指标权重
Tab.5 Criterion layer indicator weight

准则层指标	ω_i	排序
安装布线过程复杂(C_1)	0.346 9	1
割草信息获取麻烦(C_2)	0.222 0	2
人机操作不合理(C_6)	0.222 0	3
自主工作能力差(C_5)	0.109 9	4
刀片更换不安全(C_3)	0.059 1	5
使用说明不清晰(C_4)	0.040 1	6

由权重计算结果得知,在用户使用割草机过程中,语意层的核心意义簇为:安装布线过程复杂、割草信息获取麻烦、人机操作不合理。同理,计算出语构层的核心意义簇为:快速安装功能、刀片调节功能。经验层的核心意义簇为:熟悉割草机操作系统、准备手机进行操作、查看割草机状态是否正常。语用层的核心意义簇为:希望操作安全、希望简化布线过程、希望无须经常充电。

各层级的核心意义簇间有相似或相异涵义,经涵义的比对,将各核心意义簇归纳为三方面的多层级核心意义簇:安装简易、人机合理、自主工作能力强。

2.3 从多层级核心意义簇到对象的回溯与重构

意义关系的建构挖掘了用户使用割草机全流程中的核心诉求,为割草机的设计指引方向。通过映射关系构建多层级核心意义簇中相关物的关系,共得到5个关键物组合,即5类部件系统,以此完成基于意义的产品建构。“多层级核心意义簇-行为关键物-相关物-部件系统”的回溯与重构过程见图6。

基于多层级核心意义簇与产品要素的映射,对割草机进行新的要素构建,共形成了4个部件系统,即:(1)核心功能,包括割草功能、供电功能、路径规划功能;(2)交互体验,包括远近期控制、个性化定义、多模态信息反馈等功能;(3)安全自主,包括悬崖检测、智能避障、防止误伤等功能;(4)外观表现,包括造型、色彩、材质三大要素。

3 基于核心意义簇的智能割草机器人方案设计与评价

3.1 智能割草机器人设计方案

基于SAPAD-AHP方法分析“行为-意义-产品”的映射关系,完成了基于意义的智能割草机器人功能建构。在句法层面,多层级核心意义簇明确了针对良好的割草机操作体验,其关键在于割草机需满足:安

装简易、人机合理、自主工作能力强。由此在物理层面形成了割草机的 4 个部件系统: 核心功能、交互体验、安全自主、外观表现。综上, 将全新构建的设计要素融入到智能割草机的设计实践中, 提出了全新的

产品框架。

经过对二维设计草图和三维虚拟模型进行推敲, 并制作三维实体原型, 形成最终设计方案, 方案推演过程如图 7 所示。

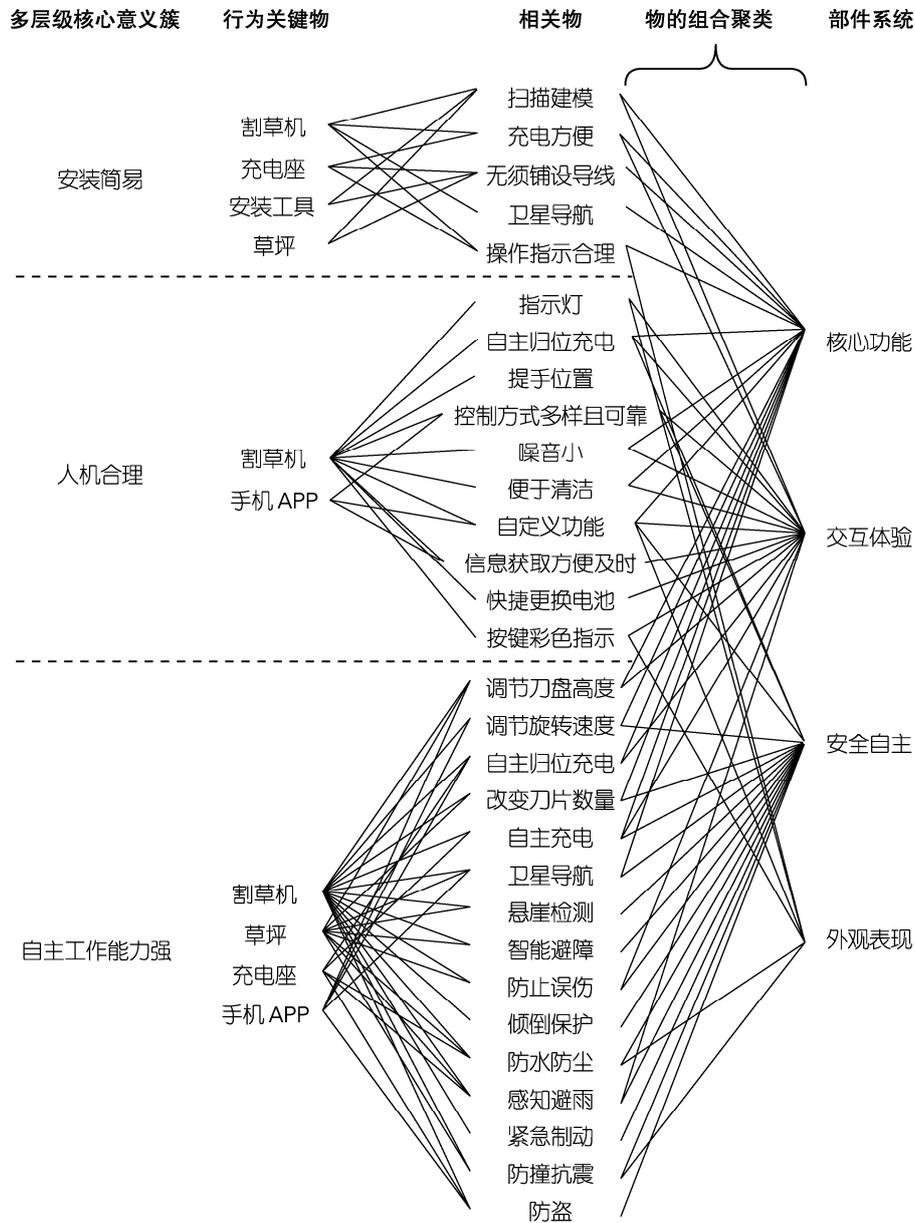


图 6 “多层级核心意义簇-部件系统”回溯与重构

Fig.6 Tracing and reconstruction of "multi-level core meaning cluster-component system"



图 7 方案推演过程

Fig.7 Schemes deduction process

最终的原型方案在4个部件系统的表现如下。

3.1.1 核心功能

1) 优化割草机构。为满足用户对草坪美化的需求,通过自动感应草坪高度以及时调整刀片高度,切割出用户预设的图案,见图8。还可实时识别草坪微小障碍物高度,自动调节刀片高度以减少磨损。



图8 自定义草坪图案
Fig.8 Custom lawn pattern

2) 实现自主回充。该智能割草机器人可在割草和充电之间自主交替,低电量时自动归位至充电座,充满电后持续工作,充电状态见图9。



图9 割草机器人充电效果图
Fig.9 Mowing robot charging rendering

3) 改良路径规划。无须边界线和引导线,首次使用时借助APP遥控割草机对草坪扫描建模,创建虚拟边界。根据RTK卫星定位结果精确规划移动路线,实现更高效修剪。当产品撞到障碍物或接近虚拟边界线时,其会重新选择新的方向,见图10。



图10 割草机器人识别障碍物
Fig.10 Mowing robot identifies obstacles

3.1.2 交互体验

为提升交互体验,该方案提供远近距离控制、个性化定义、多模态信息反馈等功能。

在实现远近距离控制方面,割草机器人提供近程实体按键和远程APP终端两种方式,从而保障了操作的安全性和便捷性。近身接触时,通过实体按键控制基础功能,满足紧急制动及检修维护等需求场景;非近身接触时,用户既可通过APP远程操控制草机器人,亦可及时了解割草进度、剩余电量等状态。

在实现个性化定义方面,通过APP可以对割草机器人进行多种自定义控制,例如:设置边界、禁区、围栏;预约割草时间点及割草时长;设置割草高度。部分APP界面如图11所示。

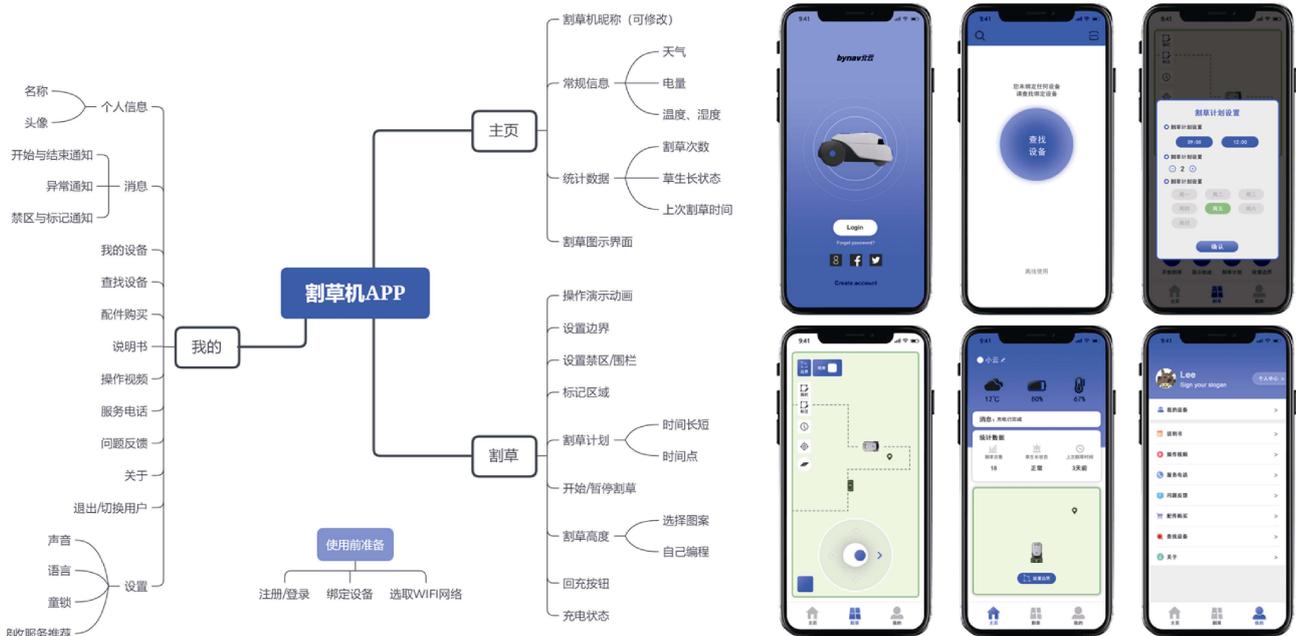


图11 APP低保真页面截图
Fig.11 APP lo-fi pages capture

在实现多模态信息反馈方面, 分别在割草机器人、APP 终端、充电基座上设置两种及以上的多感官反馈形式, 通过声音、振动、可视化图文、指示灯等准时、准确地将信息传递给用户。

3.1.3 安全自主

该割草机器人具备悬崖检测、智能避障、防止误伤、倾倒保护、防水防尘、感知避雨、紧急制动、防撞抗震及防盗等功能, 保证运行安全, 产品基本结构见图 12。



图 12 割草机器人内部结构 (初步)
Fig.12 Preliminary internal structure of mowing robot

3.1.4 外观表现

为与市面上已有品牌风格形成差异, 并符合割草机器人智能化特征, 设计方案定位为灵活前卫的风格。在造型上, 采用肌肉感曲线, 沿用雷达无人机前脸的曲线特征; 在色彩上, 基于色彩的情感共鸣及信息传递的特性, 以大面积银灰色与深灰色的搭配传达出家用产品的科技属性, 局部使用蓝色突出功能属性, 红色的点缀传达警示语意; 在选材上, 使用玻璃纤维、尼龙及 ABS 塑料等具有较高强度和刚度的材

料, 防水防尘, 保证机器的良好运转。

3.2 设计方案评价

为获取用户对所设计的智能割草机器人方案的评价结果, 将扫描建模、充电方便等 30 个相关物作为评价指标进行问卷设计, 同时选取市面上常见的两种智能割草机器人进行比对。评价问卷中图文结合, 详细描述各项指标, 方便受访者理解。采用 1~3 的整数数值对各样本的评价指标进行逐一评分, 数值越高代表满意度越高。

共邀请了 20 名割草机器人使用者参与本次评价, 以问卷结果中具体指标的平均分值乘以对应权重, 得到核心功能、交互体验、安全自主、外观表现 4 个评分项目的最终评价结果, 见图 13。样本 1、样本 2、样本 3 的外观见图 14。其中, 样本 3 为文中智能割草机器人设计方案。

由图 13 中数据可知, 基于 SAPAD-AHP 设计的智能割草机器人的各项分值均更高, 在核心功能和交互体验方面均有显著改善。

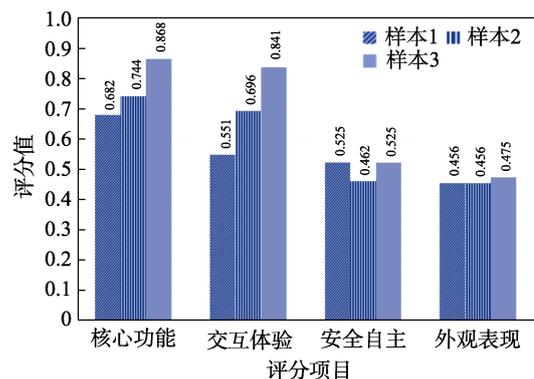


图 13 设计评价结果
Fig.13 Design evaluation result



图 14 对比样本
Fig.14 Contrast sample

4 结语

将 SAPAD-AHP 方法应用到高集成、高复杂、高技术性的智能割草机器人设计中, 可弥补现有智能化机械产品容易忽略用户操作体验的不足。在设计符号学的 SAPAD 框架下, 对智能割草机器人用户的行为进行深入挖掘, 从意义的角度出发, 精确识别用户需求和过程中的痛点。利用 AHP 定量分析的优势,

客观地对全部需求点的权重进行排序, 进而筛选出用户的核心需求, 有助于科学、有效地探寻到智能割草机器人创新的机会点, 对设计开发更安全、更易用、更易学的实体产品原型和数字化产品方案, 以及积极回应用户核心需求都起到正向作用。同时, 本研究为机器人产品和智能机械装备等类似产品的开发研究也提供了一定思路。因受实际条件的限制, 本研究在地域的丰富性和用户群体的多样性方面存在一定的

局限性,未来可将地域差异、草坪类型差异等作为研究考察的范畴,进一步拓展研究的广度和深度。

参考文献:

- [1] 刘立志,孙晓阳,谢福春,等.草坪植物持绿性及相关研究进展[J].中国草地学报,2022,44(8):109-114.
LIU Li-zhi, SUN Xiao-yang, XIE Fu-chun, et al. Advances in Stay-green Characteristics in Turfgrass and Related Research[J]. Chinese Journal of Grassland, 2022, 44(8): 109-114.
- [2] 赵金龙,唐芳林,刘永杰.生态文明建设背景下我国草坪业发展的思考[J].草业科学,2021,38(10):2077-2086.
ZHAO Jin-long, TANG Fang-lin, LIU Yong-jie. Thoughts on Development of China's Turf Industry in the Context of Ecological Civilization Construction[J]. Pratacultural Science, 2021, 38(10): 2077-2086.
- [3] 邢宝.面向家庭用户的割草机国内外发展现状及趋势研究[J].南方农机,2018,49(23):73-74.
XING Bao. Research on Domestic and International Development Status and Trend of Lawn Mowers for Home Users[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2018, 49(23): 73-74.
- [4] 丛明,金立刚,房波.智能割草机器人的研究综述[J].机器人,2007,29(4):407-416.
CONG Ming, JIN Li-gang, FANG Bo. Intelligent Robot Mowers: A Review[J]. Robot, 2007, 29(4): 407-416.
- [5] LIAO J C, CHEN S H, ZHUANG Z Y, et al. Designing and Manufacturing of Automatic Robotic Lawn Mower [J]. Processes, 2021, 9(2): 358.
- [6] 赵焯.智能割草机的驱动控制研究[D].杭州:浙江大学,2020.
ZHAO Ye, Research on Drive Control of Intelligent Mower[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [7] MAN A E C, AW S R, ADB RAHMAN N, et al. Development of Dual-mode Grass Cutter Robot[C]. United Kingdom: IOP Publishing, 2022.
- [8] 陈镜宇,郭志军,尹亚昆.基于混合算法的智能割草机全遍历路径规划及其系统设计[J].计算机科学,2021,48(S1):633-637.
CHEN Jing-yu, GUO Zhi-junk, YIN Ya-kun. Full Traversal Path Planning and System Design of Intelligent Lawn Mower Based on Hybrid Algorithm[J]. Computer Science, 2021, 48(S1): 633-637.
- [9] 陈香,邱大鹏.基于模糊Kano模型与TOPSIS法的产品设计研究[J].图学学报,2019,40(2):315-320.
CHEN Xiang, QIU Da-peng. Research of Product Design Based on Fuzzy-Kano Model and TOPSIS[J]. Journal of Graphics, 2019, 40(2): 315-320.
- [10] 程旭锋.工业产品形象设计品质评价方法研究[D].北京:北京林业大学,2016.
CHENG Xu-feng. Study on Quality Evaluation of Industrial Products Image Design[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.
- [11] VAIDYA O S, KUMAR S. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 169(1): 1-29.
- [12] HU F, SATO K, ZHANG X, et al. Semiotic Basis for Designing Product Architecture[C]// Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design, Seoul: ICED, 2013.
- [13] RACZ S G, CRENGANIS M, BREAZ R E, et al. Mobile Robots--AHP-based Actuation Solution Selection and Comparison between Mecanum Wheel Drive and Differential Drive with Regard to Dynamic Loads[J]. Machines, 2022, 10(10): 886.
- [14] ZHANG X, HU F, ZHOU K, et al. Reflecting Meaning of User Experience: Semiotics Approach to Product Architecture Design[C]. Amsterdam: IOS Press, 2017.
- [15] 胡飞,晋漪萌,王楷.基于SAPAD的无人售货产品服务系统设计研究[J].机械设计,2019,36(10):127-132.
HU Fei, JIN Yi-meng, WANG Kai. Product Service System Design of Self-service Based on SAPAD Framework[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(10): 127-132.
- [16] 郭雨晴.用户行为导向的手持头部按摩机器人优化设计研究[D].湘潭:湘潭大学,2019.
GUO Yu-qing. Research on Product Ergonomic Optimization Design of User Behavior Oriented Handheld Head Massager[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2019.
- [17] 周红宇,张学敏,赵金锴,等.基于层次分析法和模糊综合评价法的智能割草机器人设计[J].包装工程,2022,43(22):65-71.
ZHOU Hong-yu, ZHANG Xue-min, ZHAO Jin-kai, et al. Design of Intelligent Mowing Robot Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(22): 65-71.
- [18] 宋磊,李鹏玉,杨卓懿,等.基于AHP法的游艇造型设计模糊综合评价方法[J].船舶工程,2020,42(12):30-34.
SONG Lei, LI Peng-yu, YANG Zhuo-yi, et al. Fuzzy Comprehensive Evaluation Method for Yacht Modeling Design Based on AHP Method[J]. Ship Engineering, 2020, 42(12): 30-34.
- [19] 刘宗明,王泽琦.基于SAPAD-AHP法的智能充电桩设计研究[J].图学学报,2023,44(2):380-388.
LIU Zong-ming, WANG Ze-qi. Intelligent Charging Pile Design Based on SAPAD-AHP[J]. Journal of Graphics, 2023, 44(2): 380-388.
- [20] 陈珊珊,段齐骏,李亚军.基于SAPAD-AHP的儿童牙医服务系统设计研究[J].包装工程,2021,42(10):115-123.
CHEN Shan-shan, DUAN Qi-jun, LI Ya-jun. Pediatric Dentistry Service System Design Based on SAPAD-AHP[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(10): 115-123.